МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

КАФЕДРА ФИЗИКИ∈

ОТЧЕТ
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

д-тор физ-мат наук, проф.		Е.В. Рутьков
должность, уч. степень, звание	подпись, дата	инициалы, фамилия

ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

по курсу: ФИЗИКА

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ ГР. №			
		подпись, дата	инициалы, фамилия

Санкт-Петербург 2019

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

– ознакомление с методикой обработки результатов измерений;

– определение электрического сопротивления провода;

– экспериментальная проверка закона Ома;

– определение удельного сопротивления нихрома;

– сравнение двух электрических схем.

2 ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Описание лабораторной установки представлено в виде электрической принципиальной схемы на рисунке 1, параметры приведены в таблице 1.

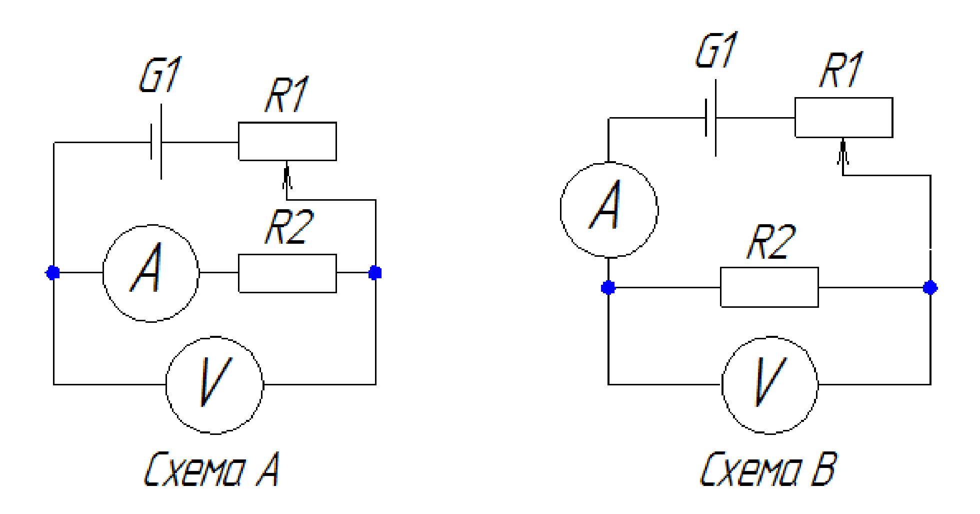


Рисунок 1 – Схема электрическая принципиальная

Таблица 1 – Параметры установки

Прибор	Тип	Цена деления	Класс точности	Предел измерения	Системат. погрешность	Внутр. сопротивление
Вольтметр	М93	0,05 В	1,5	1,5 В	0,02 В	2500 Ом
Миллиампер метр	М93	5 мА	1,5	250 мА	0,004 А	0,2 Ом
Линейка	–	1 мм	–	50 см	0,002 м	–

3 РАБОЧИЕ ФОРМУЛЫ

Для расчета электрического сопротивления используются формулы 1 (закон Ома), 2 (схема А) , 3 (схема В), где R – электрическое сопротивление проводника, U – падение напряжения на проводнике, I – сила тока в проводнике, R_A – сопротивление амперметра, R_V – сопротивление вольтметра.

$$R=\frac{U}{I} \qquad (1)$$

$$R=\frac{U}{I}-R_A \qquad (2)$$

$$R=\left(\frac{1}{U}-\frac{1}{R_V}\right)^{-1} \qquad (3)$$

Для определения среднего сопротивления используется формула 4, где $R_{ср}$ – среднее значение сопротивления, n – число измерений.

$$R_{cp}=\frac{\sum_{i=1}^{n} R_i}{n} \qquad (4)$$

Для вычисления удельного сопротивления проводника используется формула 5, где ρ – удельное сопротивление материала, l – длина проводника, D – диаметр проводника.

$$\rho=\frac{R_{cp}\times\pi\times D^2}{4\times l} \qquad (5)$$

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ВЫЧИСЛЕНИЙ

В таблице 2 приведены результаты вычислений для схемы А, в таблице 3 приведены вычисления для схемы В.

Таблица 2 – Результаты для схемы А

U, B	0,24	0,3	0,36	0,42	0,47	0,54	0,61	0,74	0,85	0,96
I, A	0,065	0,08	0,095	0,110	0,125	0,14	0,16	0,19	0,22	0,25
U/I, Ом	3,69	3,75	3,79	3,82	3,76	3,86	3,81	3,89	3,86	3,84
R, Ом	3,49	3,55	3,59	3,62	3,56	3,66	3,61	3,69	3,66	3,64
θ_R, Ом	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1

Таблица 3 – Результаты для схемы В

U, B	0,23	0,28	0,34	0,4	0,45	0,5	0,57	0,68	0,79	0,9
I, A	0,065	0,08	0,095	0,11	0,125	0,14	0,16	0,19	0,22	0,25
U/I, Ом	3,54	3,5	3,58	3,64	3,6	3,57	3,56	3,58	3,59	3,6
R, Ом	3,54	3,5	3,58	3,64	3,61	3,58	3,57	3,58	3,6	3,61

θ_R, Ом	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1

$R_{ср}$ = 3,59 Ом; ρ = 1,1×10^{-6} Ом×м

5 ПРИМЕРЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ

По формуле (1): $R=\frac{U}{I}=\frac{0,3}{0,08}$ = 3,75 Ом

По формуле (2): $R=\frac{U}{I}-R_A=\frac{0,3}{0,08}$ – 0,2 = 3,55 Ом

По формуле (3): $R=\left(\frac{I}{U}-\frac{1}{R_V}\right)^{-1}\approx\left(\frac{0.11}{0.4}-\frac{1}{2500}\right)^{-1}\approx\frac{1}{0.2746}$ ≈ 3,64 Ом

По формуле (4): $R_{ср}$ = (3,49+3,55+3,59+3,62+3,56+3,66+3,61+3,69+3,66+ +3,64+ +3,54+3,5+3,58+3,64+3,61+3,58+3,57+3,58+3,6+3,61)/20 ≈ 3,59 Ом

По формуле (5): $\rho=\frac{R_{cp}\times\pi\times D^2}{4\times l}=\frac{3,59\times3,1415\times0,00036^2}{4\times0,3}$ ≈ 1,1×10^{-6} Ом×м

6 ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ

6.1 Систематические погрешности

$\theta_I=\frac{I_m\times K_I}{100}=\frac{0,25\times1,5}{100}$ = 3,75×10^{-3} ≈ 0,004 А

$\theta_U=\frac{U_m\times K_U}{100}=\frac{1,5\times1,5}{100}$ = 0,0225 ≈ 0,02 В

θ_l = 2×10^{-3} м

θ_ρ = 0,5×10^{-5} м

Формула для систематической погрешности косвенного измерения электрического сопротивления:

R = R (U, I) = $\frac{U}{I}$ => $\theta_R=R\times\left(\frac{\theta_U}{U}+\frac{\theta_I}{I}\right)$

Вычисления по выведенной формуле:

$\theta_{R1}=R_1\times\left(\frac{\theta_U}{U}+\frac{\theta_I}{I}\right)=3,69\times\left(\frac{0,02}{0,24}+\frac{0,004}{0,065}\right)$ = 0,5 Ом

$\theta_{R10}=R_{10}\times\left(\frac{\theta_U}{U}+\frac{\theta_I}{I}\right)=3,84\times\left(\frac{0,02}{0,96}+\frac{0,004}{0,25}\right)$ = 0,1 Ом

В качестве систематической погрешности итогового результата взята погрешность, полученная при наибольшем токе (θ_{Rcp} = 0,1 Ом).

Вывод формулы для систематической погрешности удельного сопротивления металла проводника:

$$\rho = \frac{R_{cp} \times \pi \times D^2}{4 \times l}; \qquad \rho = \rho\,(R_{cp}, l. D); \qquad \theta_\rho = \rho \times \left(\frac{\theta_R}{R} + \frac{\theta_l}{l} + 2\frac{\theta_D}{D}\right)$$

Вычисление значения по выведенной формуле:

$$\theta_\rho = \rho \times \left(\frac{\theta_R}{R} + \frac{\theta_l}{l} + 2\frac{\theta_D}{D}\right) = 1{,}1 \times 10^{-6} \times \left(\frac{0{,}1}{3{,}59} + \frac{0{,}002}{0{,}3} + 2\frac{0{,}01 \times 10^{-3}}{0{,}36 \times 10^{-3}}\right) = 1{,}1 \times 10^{-6} \times$$

$\times(0{,}027+0{,}007+0{,}028) = 0{,}068 \times 10^{-6}$ Ом×м

6.2 Случайные погрешности

Средняя квадратичная погрешность отдельного измерения:

$$S_R = \sqrt{\frac{(R_1 - R_{cp})^2 + (R_2 - R_{cp})^2 + \ldots + (R_N - R_{cp})^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{(3{,}49 - 3{,}6)^2 + (3{,}55 - 3{,}6)^2 + (3{,}59 - 3{,}6)^2 + \ldots + (3{,}61 - 3{,}6}{19}}$$

$$\sqrt{\frac{0{,}05048}{19}} \approx \sqrt{0{,}00266} \approx 0{,}05 \text{ Ом}$$

Среднее квадратичное отклонение:

$$S_{R_{cp}} = \sqrt{\frac{(R_1 - R_{cp})^2 + (R_2 - R_{cp})^2 + \ldots + (R_N - R_{cp})^2}{(N-1) \times N}} = \frac{S_R}{\sqrt{N}} = \frac{0{,}05}{\sqrt{20}} \approx 0{,}011 \approx 0{,}01 \text{ Ом}$$

В этой работе проводится измерение неслучайных по своей природе физических величин: электрического сопротивления провода – R и удельного сопротивления нихрома – ρ, поэтому, случайные погрешности определяются только влиянием приборных ошибок на измеряемые величины. В этом случае должны выполняться неравенства: $S_R \le \theta_R$; $S_{Rcp} < \theta_R$.

Лучше, если первое из неравенств будет строгим, а во втором окажется знак ≪:

0,05 ≤ 0,1 (т.е. $S_R \le \theta_R$);

0,01 ≪ 0,1 (т.е. $S_{Rcp} \ll \theta_R$).

Данные неравенства указывают на то, что в измерениях, скорее всего, не было промахов.

Случайные погрешности удельного сопротивления:

$$S_\rho = \frac{\rho \times S_{Rcp}}{R_{cp}} = \frac{1{,}10 \times 10^{-6} \times 0{,}01}{3{,}59} \approx 0{,}003 \times 10^{-6} \text{ Ом} \times \text{м}.$$

6.3 Полная погрешность

В случае, когда измеряется неслучайная по своей природе физическая величина – R (электрическое сопротивление проводника), его случайная погрешность не должна превосходить систематическую $S_{Rcp} < \theta_R$, она уже учтена в систематической погрешности, и объединять их в полную погрешность не надо. Полная погрешность равна систематической.

$\Delta_R = \theta_R = 0{,}1$ Ом $\qquad\qquad \Delta_\rho = \theta_\rho = 0{,}003 \times 10^{-6}$ Ом×м

$|\rho - \rho_{табл}| = |1{,}1 - 1{,}05| \times 10^{-6} = 0{,}05 \times 10^{-6}$ Ом×м.

Т.е. полученный результат совпадает с табличным в пределах погрешности.

7 ВЫВОДЫ

1. В процессе выполнения лабораторной работы была освоена и укреплена методика обработки результатов косвенных измерений.

2. Электрическое сопротивление проводника R = 3,6±0,1 Ом с вероятностью P=95%.

3. Удельное сопротивление нихрома ρ = (1,10±0,08)×10–6 Ом×м с вероятностью P=95%. Экспериментально определенное значение ρ в пределах погрешности совпадает с табличным значением нихрома $\rho_{таб} = 1{,}05 \times 10^{-6}$ Ом×м.

4. Из проведенных опытов видно, что каждое значение сопротивления в таблицах 2 и 3 отличаются от R_{cp} меньше, чем на систематическую погрешность θ_R. Это значит, что электрическое сопротивление не зависит от протекающего тока и от падения напряжения на нем (по Закону Ома).

5. Учет сопротивления амперметра приводит к поправке 0,2 Ом, учет сопротивления вольтметра приводит к поправке 0,02 Ом. Поскольку в лабораторной работе не задана точность свыше 3 знака, поправку на сопротивление вольтметра можно не делать, следовательно для схемы В электрическое сопротивление можно вычислять по закону Ома без поправок.